

学校编码: 10384  
学号: 22420091151158

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

皱纹盘鲍对水相和食物相铜和锌的生物累积

**Bioaccumulation of *Haliotis discus hannai* to waterborne  
and dietary copper and zinc**

涂日炜

指导教师姓名: 郭 丰 副教授

专 业 名 称: 海 洋 生 物 学

论文提交日期: 2012 年 6 月

论文答辩时间: 2012 年 6 月

2012年6月

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT .....	III
第一章 绪 论 .....	1
1.1 海洋中重金属的特性和危害 .....	1
1.1.1 重金属的定义和生物学功能 .....	1
1.1.2 重金属的来源 .....	2
1.1.3 重金属的化学特性和危害 .....	3
1.2 我国近海海洋环境和海洋生物重金属污染现状 .....	5
1.2.1 我国近海海洋环境重金属污染状况 .....	5
1.2.2 我国近海海洋生物重金属污染状况 .....	7
1.3 海洋动物重金属生物累积和毒性效应的研究进展 .....	8
1.3.1 海洋生物吸收重金属的基本模式 .....	8
1.3.2 水相和食物相金属生物累积和毒性效应的研究状况 .....	9
1.3.3 亚细胞分布在重金属研究中的应用 .....	12
1.3.4 金属硫蛋白(MT)在重金属研究中的应用 .....	14
1.3.5 动力学模型在重金属研究中的应用 .....	15
1.4 本研究的内容和意义 .....	16
1.4.1 皱纹盘鲍 .....	16
1.4.2 大型海藻细基江蓠繁枝变种 .....	17
1.4.3 本研究目的和意义 .....	17
第二章 皱纹盘鲍对水相和食物相铜和锌的生物累积 .....	20
2.1 实验材料和方法 .....	20
2.1.1 实验动物的采集与暂养 .....	20
2.1.2 主要仪器与试剂 .....	20
2.1.3 实验方法 .....	21
2.1.4 参数的测定 .....	21

2.2 数据统计分析 .....	25
2.3 实验结果 .....	26
2.3.1 皱纹盘鲍的 CI 值, BCF 和 TTF .....	26
2.3.2 皱纹盘鲍体内 Cu 的累积 .....	27
2.3.3 皱纹盘鲍体内 Zn 的累积 .....	28
2.3.4 皱纹盘鲍体内 Cu 的亚细胞分布 .....	30
2.3.5 皱纹盘鲍体内 Zn 的亚细胞分布 .....	30
2.3.6 皱纹盘鲍体内金属硫蛋白 (MT) 浓度的变化 .....	34
2.4 讨论 .....	37
2.4.1 皱纹盘鲍内脏和肌肉对水相及食物相 Cu 和 Zn 的累积 .....	37
2.4.2 水相和食物相暴露对皱纹盘鲍体内 Cu 和 Zn 亚细胞分布的影响 .....	38
2.4.3 金属暴露对金属硫蛋白 (MT) 的影响 .....	39
2.4.4 皱纹盘鲍对 Cu 和 Zn 的解毒机制 .....	40
2.4.5 水相和食物相暴露的相对重要性 .....	40
第三章 总结与展望 .....	43
3.1 总结 .....	43
3.2 不足与展望 .....	44
参考文献 .....	46
致 谢 .....	56



# TABLE OF CONTENTS

<b>Abstract (in Chinese)</b> .....	I
<b>Abstract (in English)</b> .....	III
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
<b>1.1 Characteristics and hazards of heavy metals in marine</b> .....	1
1.1.1 Definition and biological function of metals .....	1
1.1.2 Sources of metals in marine .....	2
1.1.3 Chemical property and toxicity of metals .....	3
<b>1.2 Metal pollution in marine environment and organisms</b> .....	5
1.2.1 Metal pollution in marine environment .....	5
1.2.2 Metal pollution in marine organisms .....	7
<b>1.3 Research progress on bioaccumulation and toxic effects of heavy metal pollutants in marine organisms</b> .....	8
1.3.1 Uptake mode of heavy metals in marine organisms .....	8
1.3.2 Bioaccumulation and toxic effects of waterborne and dietary metal .....	9
1.3.3 The application of subcellular distribution in heavy metal studies .....	12
1.3.4 The application of metallothionein in heavy metal studies .....	14
1.3.5 The application of kinetic model in heavy metal studies .....	15
<b>1.4 The objectives and framework of this study</b> .....	16
1.4.1 Abalone ( <i>Haliotis discus hannai</i> Ino) .....	16
1.4.2 Macroalgae ( <i>Gracilaria tenuistipitata</i> var. <i>liui</i> ) .....	17
1.4.3 Objectives .....	17
<b>Chapter 2 Bioaccumulation of <i>Haliotis discus hannai</i> to waterborne and dietary copper and zinc</b> .....	20
<b>2.1 Materials and methods</b> .....	20
2.1.1 Animals Collection and Holding .....	20
2.1.2 Main instruments and reagents .....	20

2.1.3 Methods.....	21
2.1.4 Parameters determination.....	21
<b>2.2 Statistics analysis .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Results.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 CI、BCF and TTF .....	26
2.3.2 Copper accumulation .....	27
2.3.3 Zinc accumulation.....	28
2.3.4 The subcellular Cu distribution.....	30
2.3.5 The subcellular Zn distribution.....	30
2.3.6 The Concentration of metallothionein .....	34
<b>2.4 Discusion.....</b>	<b>37</b>
2.4.1 The accumulation of Cu and Zn in abalone muscle and viscera during the exposure to waterborne and dietary .....	37
2.4.2 The subcellular distribution of Cu and Zn in <i>Haliotis discus hannai</i> .....	38
2.4.3 The impact of metal exposure on metallothionein.....	39
2.4.4 The detoxification mechanism of Cu and Zn in <i>Haliotis discus hannai</i> .....	40
2.4.5 The relative importance of waterborne and dietary exposure.....	40
<b>Chapter 3 Conclusion and Perspectives .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Conclusions .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Perspectives.....</b>	<b>44</b>
<b>References .....</b>	<b>46</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>56</b>

## 摘 要

近年来,有关海洋动物对食物相金属的生物累积(食物链传递)及其毒性效应已成为生态毒理学的一个重要研究方向。本研究以我国海水养殖业中占有重要经济地位的皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ito)为研究对象,以细基江蓠繁枝变体(*Gracilaria tenuistipitata* var. *liui*)为饵料,进行8周的水相和食物相Cu和Zn的暴露,通过分析CI值、金属累积、亚细胞分布以及金属硫蛋白(MT)浓度等指标的变化,研究皱纹盘鲍对水相和食物相Cu和Zn的生物累积及其响应,探讨其对水相和食物相Cu和Zn的累积模式、水相和食物相暴露的相对重要性以及可能的解毒途径和毒性机理。本研究还可为皱纹盘鲍的健康养殖以及食品安全评估提供理论依据。

研究的主要结果如下:

(1) 8周的水相和食物相暴露过程中,内脏、肌肉和组织(总)Cu、Zn含量的变化表明,皱纹盘鲍对Cu和Zn的累积特征明显不同。在本实验条件下,皱纹盘鲍对Cu呈现逐步累积趋势,对Zn则快速累积而后迅速下降。同时,皱纹盘鲍内脏和肌肉中Cu、Zn的来源也不相同。肌肉中的Cu主要来源于水相暴露,水相和食物相暴露同为内脏Cu的重要来源;与Cu不同,水相和食物相暴露均为内脏和肌肉Zn的重要来源。此外,内脏是Zn的主要贮存库,而肌肉和内脏均为Cu的重要贮存部位。

(2) 经过8周的暴露,无论是水相还是食物相Cu的暴露,均引起了皱纹盘鲍体内Cu亚细胞组分的重新分配。暴露前,细胞器(Organelles)组分是内脏和肌肉中Cu的主要储存库。暴露后,内脏中的类金属硫蛋白(MTLP)含量迅速增加,取代细胞器成为Cu的主要储存库;在肌肉中,除了类金属硫蛋白含量明显增加外,富金属矿体(MRG)组分含量在水相暴露和高金属饵料Cu暴露组也显著上升。与Cu不同,暴露前后,各实验组皱纹盘鲍内脏和肌肉Zn的亚细胞分布均没有发生明显的变化,内脏中Zn主要分布在细胞碎片(Cellular debris)和类金属硫蛋白(MTLP)组分中,而肌肉的Zn主要贮存在细胞碎片和富金属矿体组分。

(3) 在本研究中, 金属 Cu 和 Zn 的暴露都不同程度诱导皱纹盘鲍组织内金属硫蛋白 (MT) 的合成, 且内脏中 MT 的浓度明显高于肌肉。相关性分析表明, 皱纹盘鲍内脏和肌肉的 Cu 含量与其 MT 浓度呈显著正相关。

(4) 水相和食物相暴露前后组织内 Cu 和 Zn 的含量、亚细胞分布以及 MT 含量的变化特征显示, 皱纹盘鲍对金属 Cu 和 Zn 具有不同的解毒机制。皱纹盘鲍对金属 Cu 的主要解毒机制就是将体内过多的 Cu 转移并累积在生物解毒组分 BDM (MTLP+MRG) 中, 与 Cu 不同, 皱纹盘鲍对金属 Zn 的主要解毒机制是将体内多余的 Zn 排出体外。

(5) 动力学模型以及生物浓缩因子 (BCF) 和食物链传递因子 (TTF) 的分析表明, 在自然环境下, 食物相和水相暴露均是皱纹盘鲍累积 Zn 的重要途径, 其中食物相暴露相对更为重要 (>50%); 而对于 Cu 而言, 水相暴露是皱纹盘鲍累积金属 Cu 的主要途径。

关键词: 皱纹盘鲍; 铜和锌; 水相和食物相; 生物累积

## Abstract

Bioaccumulation and toxic effects on marine biological has become an important research direction in recent years. In the present research, we exposed *Haliotis discus hanna*, an important aquiculture abalone, to waterborne and dietary Cu and Zn for eight weeks, using *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* with different Cu and Zn contents as diet. Using the condition index, metal accumulation, subcellular distribution and concentration of metallothionein, we studied the accumulation mode, the relative importance of waterborne and dietary exposure and the possible detoxification pathways and toxicity mechanisms of *Haliotis discus hanna*. This research can also provide a reliable reference for abalone healthy farming and the environmental risk assessment to marine food.

The main results are as follows:

(1) During eight weeks of waterborne and dietary exposure, the changes of concentration of Cu and Zn in viscera, muscle and tissue (total) indicated that the accumulative characteristics of Cu and Zn in *Haliotis discus hannai* were significantly different. Under our experimental conditions, *Haliotis discus hannai* show a gradual trend of accumulating Cu. But for Zn, after a rapid accumulation, it was quickly declined. Meanwhile, the sources of Cu and Zn in abalone viscera and muscle were different. Cu in muscle come mainly from the waterborne exposure, while both waterborne and dietary exposure were important sources of Cu in viscera. Different from Cu, both waterborne and dietary exposure were important sources of Zn in viscera and muscle. Besides, the viscera of abalone is the main part for accumulating Zn. But both muscle and viscera of abalone were important repository of Cu.

(2) After 8 weeks of waterborne or dietary exposure, Cu subcellular components in abalone were redistributed. At the beginning of exposure, Organelles were the main storage sites for Cu in the muscle and viscera of abalone. After exposure, the content of MTLTP in viscera rapidly increased and replaced the cellular debris as the main components of the Cu. In muscle, in addition to the significantly increased MTLTP, the

content of MRG in waterborne and high dietary Cu treatments also significantly increased. Obviously not the same as with Cu, there was no significantly change in subcellular distribution of Zn in the abalone before and after exposure. Cellular debris and MTLP were the main storage sites in the viscera, and Zn were mainly stored in the cellular debris and MRG components in muscle.

(3) In the present study, after Cu and Zn exposure, metallothionein (MT) contents in muscle and viscera were induced at different levels. MT concentration in viscera was significantly higher than that in muscle. Correlation analysis showed that positive correlation was found between MT content and concentration of Cu in viscera and muscle.

(4) The concentration of Cu and Zn in tissue, subcellular distribution and variation of MT showed that abalone (*Haliotis discus hannai*) had different detoxification mechanisms for Cu and Zn. For Cu, the main detoxification mechanism was to transfer the extra Cu to the biological detoxification component (BDM), which included MTLP and MRG. When comparing to Cu, the detoxification mechanism of Zn in abalone was to excrete excessive Zn.

(5) Using the Kinetics model, BCF and TTF analyse, we found that waterborne and dietary exposure pathways were important ways of abalone (*Haliotis discus hannai*) in accumulating Zn in the natural environment, of which dietary phase was relatively more important (> 50%). However, the waterborne pathway was the main approach for *Haliotis discus hannai* in Cu accumulation.

Key Words: *Haliotis discus hannai* Ino; copper and zinc; waterborne and dietary; bioaccumulation

## 第一章 绪 论

### 1.1 海洋中重金属的特性和危害

#### 1.1.1 重金属的定义和生物学功能

《环境科学大辞典》中将重金属定义为:密度大于 $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (或者大于 $4\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )的金属<sup>[1]</sup>。一般来说,海水中重金属(也称微量金属)的浓度很低,然而,当生物体内重金属浓度超过某一阈值时,就会对生物体产生毒害作用<sup>[2]</sup>。对生物而言,重金属可划分为两大类:一类是必需金属,它是生物进行生理代谢活动中不可缺少的金属,例如锌(Zn)、镁(Mg)、铜(Cu)、铁(Fe)、镍(Ni)、硒(Se)、砷(As)、钴(Co)、铬(Cr)、锰(Mn)、钼(Mo)、锡(Sn)和钒(V);另一类是非必需金属,一般不参与生物体的新陈代谢活动,例如金(Au)、镉(Cd)、汞(Hg)、银(Ag)、铅(Pb)和一些罕见的高原子量金属<sup>[3]</sup>。

大多数必需金属对维持生物正常的生长和新陈代谢具有重要的作用。许多二价必需金属作为重要的辅助因子参与生物体内的生化反应。比如,Cu是细胞内多种酶必需的辅助因子,缺Cu会影响细胞色素氧化酶的正常功能;Zn是生物体内200多种酶的重要组成组分,同时Zn可以作为细胞内碳还原酶的辅助因子在浮游植物光合作用的固碳过程中起重要作用,此外,Zn还是碳酸还原酶的辅助因子,参与核酸的复制和转录;Fe作为细胞色素酶的重要组分,在光合作用的电子传递过程中起到重要的作用。表1.1列出了一些重要的必需金属元素在生物体中所起的作用和功能<sup>[4]</sup>。

必需金属和非必需金属的“生物剂量—反应”关系不太相同。当外界环境中必需金属浓度很低时,必需金属可能成为限制因子。虽然生物体自身可以对必需金属在体内的浓度进行自动调节,但是当必需金属在生物体内的浓度超过一定水平时也会对生物体产生毒害作用。一般情况下,非必需金属不参与生物体内的新陈代谢活动,但是许多的非必需金属(如 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 和 $\text{Cd}^{2+}$ )可以通过必需金属的转运体系进入细胞内,干扰细胞的正常功能,在较低组织浓度下就能对生物体产生较高的毒性<sup>[5,6]</sup>。

表 1.1 一些含有微量金属辅助因子的酶和氧化还原蛋白（引自王文雄<sup>[4]</sup>）

Table 1.1 Contain traces of metal cofactor of enzymes and redox proteins

金属	酶	主要功能
铜 (Cu)	质蓝体	光合作用的电子传递
	细胞色素 C 氧化酶	线粒体电子传递
	抗坏血酸氧化酶	抗坏血酸氧化/还原
钴 (Co)	维生素 B <sub>12</sub>	碳和氢转移反应
铁 (Fe)	细胞色素 f, b, c	光合作用的电子传递, 呼吸
	铁氧化还原蛋白	光合作用中的电子传递和氮的固定
	铁硫蛋白	光合作用和呼吸作用中的电子传递
	过氧化氢酶	过氧化氢分解成水和氧气
	螯合酶	卟啉和藻胆蛋白的合成
铁和钼 (Fe、Mo)	固氮酶	氮的固定
	亚硝酸、盐硝酸盐还原酶	硝酸盐还原为氨
锰和铁 (Mn、Fe)	超氧化物歧化酶	氧原子→氧分子和过氧化氢
镍 (Ni)	尿素酶	尿素水解
锌 (Zn)	DNA/RNA 聚合酶	核酸复制和转录
	碳酸酐酶	CO <sub>2</sub> 的水化和脱水
	碱性磷酸酶	磷酸酯的水解

### 1.1.2 重金属的来源

海洋中重金属主要有天然和人为两种来源<sup>[7]</sup>。天然来源包括海底火山喷发将地壳的重金属引入海洋、地表岩石风化和陆地径流等方式流入海洋。人为来源包括矿山、海洋油井的开采, 运输工具废气的排放、工业和生活废水的排放(如电镀、冶炼、涂料、制革等)。随着社会经济的不断发展, 人类活动对重金属的地球化学循环的影响也日益明显, 几乎所有金属都被应用到社会生产中。从全球范围来看, 人类活动产生的重金属相当于甚至超过了天然来源。自然界中Hg、Pb、Zn、Cu和Cd的人为排放量已经超过天然排放量的3倍。有些重金属污染物是直接排入海洋, 有些是经河流与大气沉降排入海洋<sup>[8-10]</sup>。其中河流运输和大气沉降是近海重金属污染物的重要来源。重金属的输送方式则主要取决于其物理和化学性质, 例如, 金属Pb和Hg主要通过大气沉降的方式而迁移, 而Cd主要通过河流输入近海海域<sup>[11]</sup>。

通过不同途径进入海洋的重金属, 有的以颗粒物质的形式下沉至海底沉积物



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库